

3

Marc Mentat 几何建模与网格生成

3.1 概述

本章介绍 Mentat 中几何建模和网格生成的相关知识与方法，主要内容分为：几何模型的外部输入方法、几何模型 Mentat 中的创建和修改方法、有限元网格生成方法，以及对已有网格进行加工、处理的功能和使用方法。

重点介绍 Mentat 2011 中新增加的一些功能，包括：

- (1) 支持直接读取 CAD 几何模型的种类。
- (2) 通用几何模型文件交换标准接口 Parasolid V22 和 STEP 文件格式输入支持。
- (3) General CAD with Repair（几何模型输入及修复）功能。
- (4) 网格划分中种子点非均匀设置。

最后通过具体实例介绍使用户更好地掌握 Mentat 网格生成部分的菜单和命令的使用方法。

3.1.1 与有限元分析相关的常用词

Element（单元）：由多个节点定义的用于分析的最基本区域。

Node（节点）：用于定义单元的点，具体位置由坐标值确定。

3.1.2 与几何实体相关的常用词

Point（点）：描述曲线、曲面的控制点。

Curve（曲线）：线段、圆弧、样条等曲线的统称。

Surface（面）：四边形面、球面、圆柱面等曲面的统称。

Solid（体）：长方体、球体、圆柱体、圆环体等体的统称。

3.2 几何模型输入

有限元分析工作的第一步是建立几何模型，几何模型对于有限元分析来说是非常重要的。建立良好的几何模型的目的是为了给建立有限元模型提供方便，而且只有良好的几何模型才能使建立有限元模型的过程顺利进行（便于有限元网格的划分、材料和物理特性的定义和边界条件的施加）。Mentat 本身具有一定的几何建模功能，用户可以从无到有地建立几何模型，包括简单的和复杂的模型；也可以从其他 CAD 系统直接输入几何模型，并可以根据需要对模型进行各种编辑操作，以满足有限元模型建立的要求。

3.2.1 Mentat 最新 CAD 接口功能

Marc 2011 增加了 CAD 模型直接输入功能，可以直接读取的几何模型包括 Pro/E、UG、CATIA、SolidWorks 等 CAD 软件创建的几何实体和装配体模型文件。这些 CAD 软件创建的模型和装配体文件可以直接输入到 Marc 软件的 Mentat 中进行网格划分。专业的 CAD 软件在几何建模方面通常比有限元软件中的几何建模模块的功能更加方便、快速、准确，能够处理复杂的自由曲线曲面和扫略、拉伸形体，Mentat 提供与专业 CAD 软件之间的直接访问接口，将 CAD 软件的几何建模的优点和效率与 Mentat 网格划分和处理方面的优点有机结合，从而达到高效准确地创建有限元模型的目的。

Marc 2011 另外一个重要的新功能是增加了最著名的几何引擎之一的 Parasolid V22 文件格式的输入支持。这使得绝大多数以 Parasolid 为几何建模内核开发的 CAD 软件创建的实体或装配体模型都可以通过这个中间格式的文件输入到 Mentat 中，为网格划分提供几何对象。此外 Marc 2011 还支持 CAD 软件数据交换标准 STEP 格式文件的输入，该格式支持几何模型的线、面和体信息的存储，无论是以 ACIS 还是以 Parasolid 为内核的 CAD 软件都支持 STEP 格式的文件输出。最常用的通用接口为多种软件之间、软件多种版本之间进行信息交互提供的中间通道为用户创建几何模型提供了更大的灵活性和机动性，从而能够满足绝大多数 Marc 有限元用户几何模型输入的需要。

3.2.2 General CAD Import with Repair（几何输入的中间通用接口）

模型的输入输出通过 Mentat 的 File 菜单实现，如图 3-1 所示。打开 Mentat 的 File 菜单，可以看到有 Import 和 Export 两项，单击 Import 项可以打开输入模型对话框；单击 Export 项可以打开输出模型对话框。下面就来分别介绍模型的输入输出。

单击 Import 菜单，旁边会出现下一级菜单，这个菜单包括各种输入文件格式，如图 3-1 所示。其中 General CAD Import with Repair 是 Marc 2011 版本新增加的功能。该功能允许输入的 CAD 模型是单个实体或装配体文件。

单击 General CAD Import with Repair，出现如图 3-2 所示的对话框。对话框的第一个选项是 Type，用户可以根据自己的需要选择相应的文件输入格式类型。Mentat 2011 支持的输入文件格式有：

- ACIS
- CATIA v4

- CATIA v5
- DXF/DWG
- IGES
- Inventor
- Parasolid
- Pro/ENGINEER
- SolidWorks
- STEP
- Unigraphics
- VDAFS

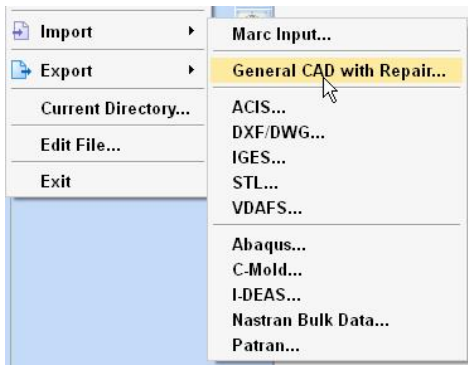


图 3-1 几何模型文件输入菜单

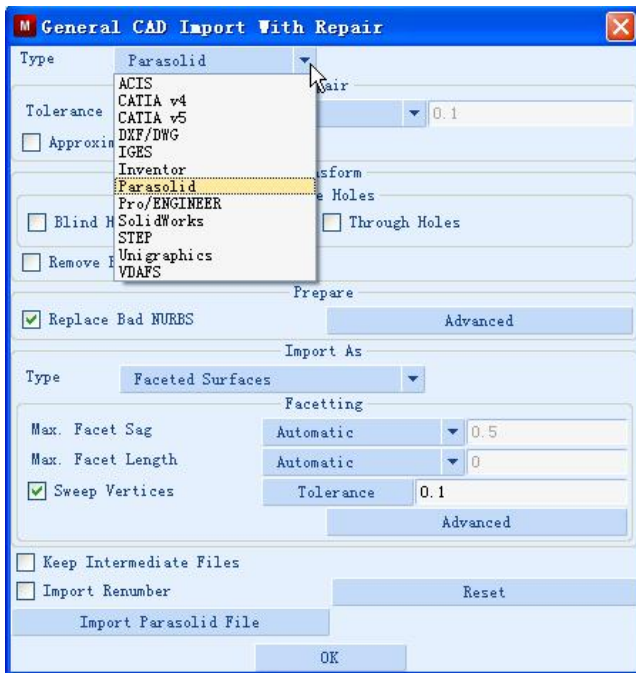


图 3-2 几何模型输入/修复对话框

Mentat 支持的上述所列的输入格式或接口可分为三个层次：采用相同 CAD 软件建模核心的（如 ACIS、Parasolid）、专用的 CAD 软件接口（如 CATIA、Inventor、Pro/E、SolidWorks、Unigraphics）、标准的数据交换格式（如 DXF/DWG、STEP、IGES、VDAFS）。

注意：仅在 Microsoft Windows 操作系统下支持 CATIA v5、Inventor 和 SolidWorks 模型的输入。

此功能模块进行几何模型的输入分为如下 7 个步骤：

(1) Type: 选择输入的文件格式。

(2) Repair: 修复模型。

这一步主要是检查几何模型的拓扑，自动修复拓扑结构上的错误。

Tolerance: 容差设置，距离在容差以内的点和边将被合并。该值可以系统默认，也可以用户指定。

Approximate Surfaces: 在曲面不封闭有小裂缝时系统自动产生新面片使曲面闭合。

(3) Transform: 去除小特征。

“Transform”包括两部分功能，分别为“Remove Holes”——去除孔和“Remove Features”——去除特征。在 Remove Holes 下勾选 Blind Holes（盲孔）或 Through Hole（通孔），在 Max. Diameter 后输入孔特征去除的最大直径的值，如图 3-3 所示，那么直径小于该值的孔将会从模型中去除。

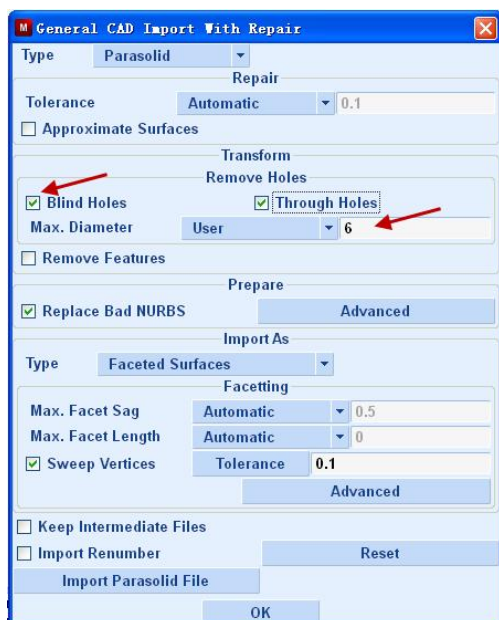


图 3-3 几何模型输入并修复对话框（孔特征去除）

(4) Prepare: 准备阶段。

为模型的曲面信息输入做准备。这一步主要是软件自动调整几何模型曲面表达的精度和复杂度，将 NURBS 曲面转换成正确连接的小面片或低阶的 NURBS 曲线曲面，将输入几何模型修改后保存为 FACET 表达和 NURBS 表达两种形式，以供第 5 步输入调用。Prepare 对话框如图 3-4 所示。Prepare（准备阶段）的操作选项有如表 3-1 所示的几类。

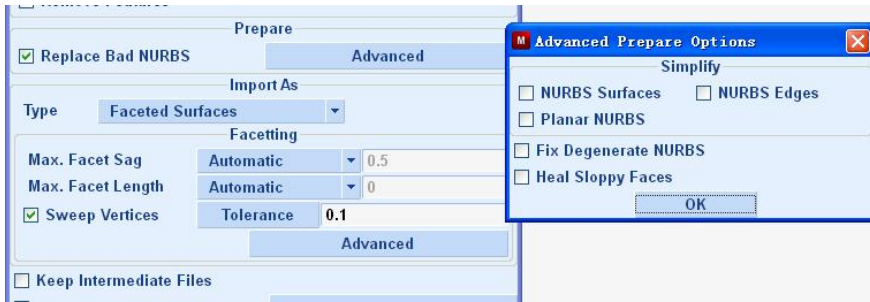


图 3-4 模型输入准备 (Prepare) 对话框

表 3-1 Prepare 阶段的操作选项及其说明

操作选项	说明
Replace Bad NURBS	将几何模型的 NURBS 曲线曲面转换成具有同样几何形状的光顺的三次 NURBS 曲线曲面
Advanced Prepare Options	提供更多的修改几何模型 NURBS 曲线曲面表达的方法
Simplify—简化	将几何模型高阶的 NURBS 表达形式转换成低阶表达形式，或者将原几何模型的 NURBS 曲面简化成若干个分析平面
Fix Degenerate NURBS	修复或者连接具有小缝隙的曲面

(5) Import As: 几何模型曲面信息输入的类型选择。

几何模型输入时不是所有的几何信息都会输入。实体模型和壳体模型的曲面信息只有外表面会输入到 Mentat 中。曲面信息输入类型选择的操作界面如图 3-5 所示。

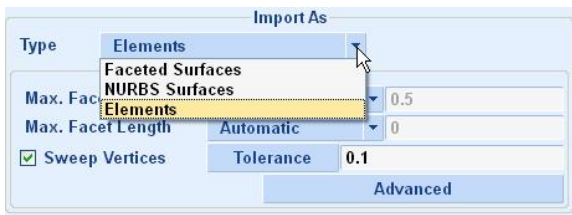


图 3-5 曲面信息输入类型选择

从图 3-5 可见，可以按照三种不同的方式来输入曲面信息：

- Faceted Surfaces (默认选项) —小面片：系统将 CAD 模型的曲面分割成若干小面片然后输入，CAD 模型的曲面包括所有这些小面片并且自动保存到以模型名字命名的 Set 里。
- NURBS Surfaces—NURBS 曲面：与小面片输入的形式相比，NURBS 曲面的输入形式表达的曲面更加光顺和精确，适用于接触定义中刚体外表面的定义，也可以以此曲面作为网格划分的曲面。
- Elements—单元网格：CAD 模型的曲面转化成模型外表面三角形单元的形式输入到 Mentat 中。这些表征曲面的三角形单元保存在以 CAD 模型名字命名的 Set 中。

(6) Facetting: 以面片形式输入时的高级选项。

此步骤提供当几何模型以 Faceted Surfaces 方式输入时的更多高级控制选项。系统目前没有以 NURBS 曲面形式输入的控制选项。Faceted Surfaces 方式输入的选项及其说明如表 3-2 所示。

表 3-2 Facetting 形式输入的曲面的控制选项及其说明

选项	说明
Max. Facet Sag	控制小面片和实际曲面之间的最大偏差。数值小时小面片对原始曲面的近似更好，精度更高，但是会生成更多的小面片
Max. Facet Length	设置小面片的最大边长，数值越大会导致平坦曲面上的更大的面片
Sweep Vertices	将小面片上的重复顶点合并。Tolerance 设置合并误差，当小面片的边长小于设置的容差时两个顶点合并为一点
Advanced Facetting Options	小面片输入的更多高级控制选项

单击 Advanced Facetting Options，出现如图 3-6 所示的对话框，其中每个选项的含义如表 3-3 所示。



图 3-6 Advanced Facetting Options 对话框

表 3-3 Facetting 形式输入的曲面的高级控制选项及其说明

选项	说明
Facetting Method	设置生成小面片的方法。Quality 法是系统默认方法，该方法生成尽量规则的面片。Curvature 法在满足几何模型曲率的情况下生成尽量规则的面片。此方法会使得面片有的很大，有的很小
Max. Facet Turn	面片最大转角设置。该设置避免面片过大需要细分的情况
Max. # Facets/Edge	设置曲面边上生成的最大面片数
Refine	通过定义狭长区域的两条边界上的面片数目来定义狭长区域的面片细分

(7) Import: 几何模型输入。

在经过上述 6 个步骤的几何修复后，模型输入到 Mentat 当前的模型数据库中。

曲面信息的输入：在输入曲面信息时，将根据前述 6 步处理后的曲面（小面片—facets 方式或 NURBS 曲面方式）自动在当前工作路径下将曲面信息保存为一个或多个 STL 文件或 IGES 文件。曲面信息输入到 Mentat 当前模型的数据库后，保存在当前工作路径下的模型曲面的 STL 文件或 IGES 文件会被自动删除。如果需要保留，可以勾选 Keep Intermediate Files 选项，如图 3-7 所示。

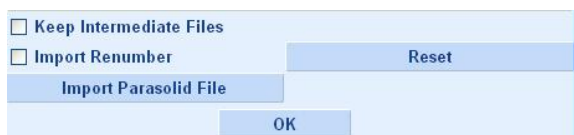


图 3-7 选择几何模型文件进行几何输入

对于 CAD 装配体文件的输入，系统会生成一个文本格式的组件文件，该文件记录了输入的装配体中组件的名称及路径。系统在将装配体输入 Mentat 时会生成装配体中组件的组(Set)，组的名称和装配体几何模型中组件的名称相同。用户很容易在输入后的 Mentat 模型中通过组—Set 分辨装配体的组件。图 3-8 显示了一个 Pro/E 软件创建的 lego man（乐高玩具机器人）的装配体文件的情况。从图中可见输入后系统自动为 lego man 装配体的每个组件几何生成了一个组—Set，并生成了一个 lego man #1.txt 的记录文件。

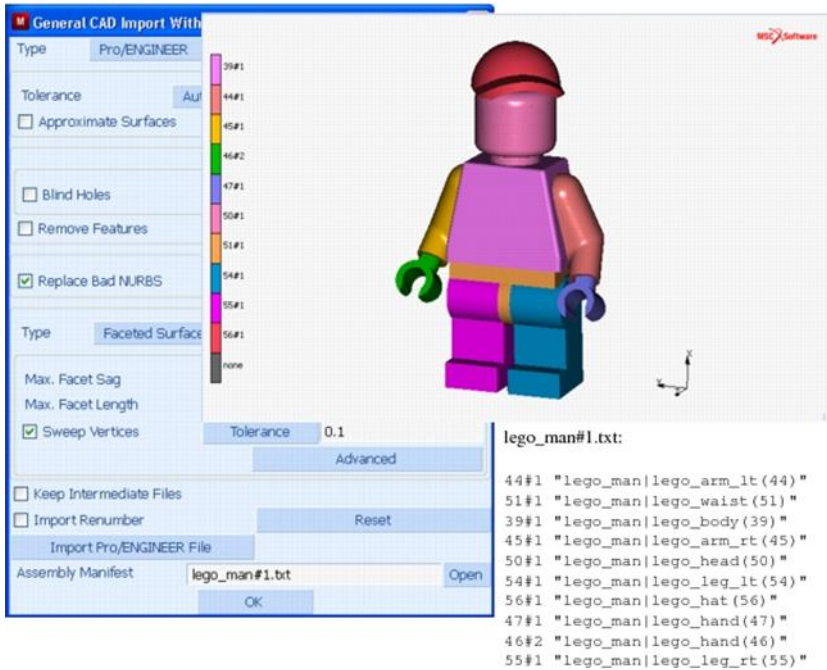


图 3-8 Pro/E 装配体模型 Lego man #1 输入结果及相关文本信息

在几何模型输入时，系统会生成一些日志文件（Log Files）。这些日志文件在几何模型输入后会自动删除。但是如果输入不成功，可以打开这些日志文件查看出错的原因。

3.3 在 Mentat 中几何建模和生成网格

上节介绍了从外部输入几何模型，Mentat 本身也具有一定的几何建模功能。Mentat 创建几何和网格以及对其进行加工和处理的功能菜单为 Geometry & Mesh，如图 3-9 所示。

3.3.1 格栅的使用

格栅的显示分两步，首先必须单击格栅显示按钮，然后设置合适的格栅参数，如大小、间隔等。格栅的定义按钮在 Geometry & Mesh 主菜单的子菜单最末一个，如图 3-10 所示。操作时依次单击①Geometry & Mesh→②Grid，激活 Grid 按钮后，在图形区将显示出一个田字型的格栅，默认格栅大小为 ± 1 ，格栅点之间的间隔为 0.1。当格栅尺寸需要修改时，单击图 3-10 中所示的③Edit，然后在图中④所指的动态菜单区进行格栅显示区域的大小和间隔设置。格栅

大小设置分为 U Domain (横向) 和 V Domain (纵向) 两个方向, 分别输入显示范围的最小值和最大值; 间隔由 Spacing 指定。Type 下有三种坐标系, 分别为直角坐标系、极坐标系和球坐标系。Set Origin 为设置格栅的中心点在全局坐标系下的位置, 默认的是(0,0,0)点。可以通过 Set Origin、Align、Rotate 等选项设置格栅的局部坐标系的 U、V 位置和方向。

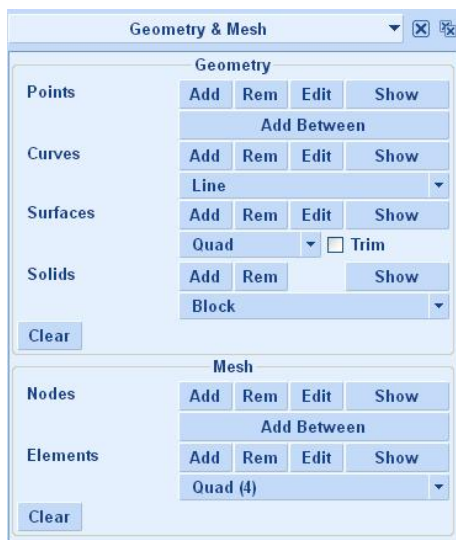


图 3-9 Geometry & Mesh 菜单

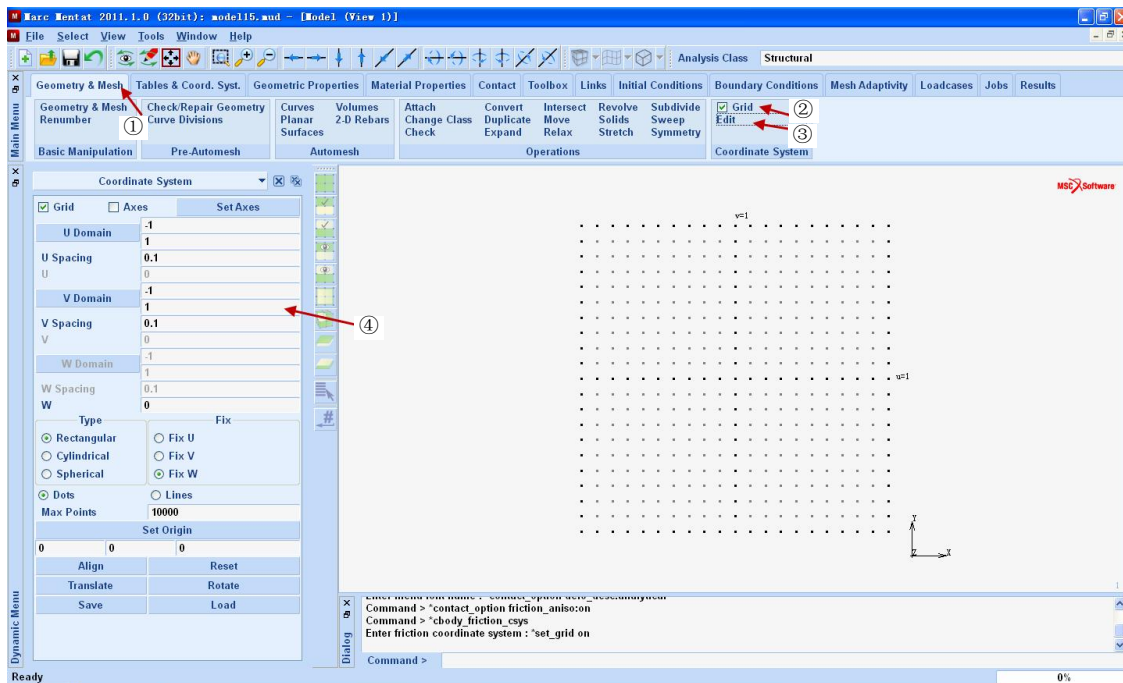


图 3-10 格栅定义对话框以及格栅显示

3.3.2 Geometry (几何要素的生成和编辑)

1. Point: 点的创建和编辑

在 Mentat GUI 中创建和编辑点的操作为：单击 Geometry & Mesh→Geometry & Mesh→Points Add。

将鼠标移至合适的光栅点，按下左键将其选为控制点，或者直接用键盘输入几何点的坐标值。

编辑点的命令：Points Edit。

删除点的命令：Points Rem。

显示点的命令：Points Show。

另外，Mentat 2011 还增加了 Add Between 的创建“点”的新功能，该功能用来创建两点连线的中点。单击该命令后，分别输入“第一点”和“第二点”，系统自动生成该两点确定的中间点。

2. Curves: 曲线的创建和编辑

曲线的创建首先需要选择创建的线型。单击动态菜单区的 Line，出现下拉列表框，如图 3-11 所示。

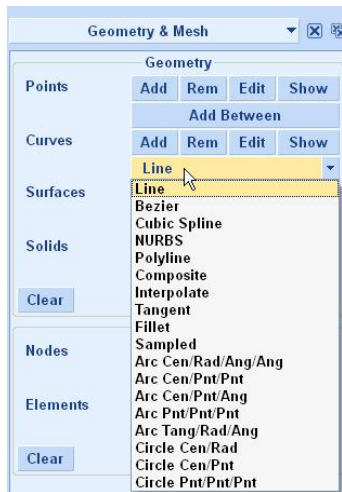


图 3-11 曲线类型下拉列表框

Mentat 支持创建的曲线类型有：

- **Line (直线)**：选取已生成的两个点，即生成一条直线。也可以直接在格栅上选取构成直线的点（与单元生成时节点的指定方法相类似）。Curve 默认类型为 Line。
- **Bezier (贝塞尔曲线)**：采用 Bezier 产生曲线，必须先指定两个以上的控制点，控制点的指定与直线生成时相同，控制点选取结束后将鼠标移至图形区并单击右键确认，表示控制点指定结束。
- **Cubic Spline (三次样条曲线)**：三次样条曲线是很重要的曲线类型，它以多段三次样条曲线逼近用户指定点，各段曲线之间光滑连接。采用 Cubic Spline 产生曲线，选择点的方式同 Bezier 曲线。
- **NURBS (非均匀有理 B 样条曲线)**：NURBS 曲线必须定义点数、曲线的阶次、NURBS

点的数据、节点、齐次坐标、节点向量等。

- Poly line (多折线): 多折线与三次样条曲线同样要指定两个以上的控制点才能生成 (控制点的指定方法与三次样条曲线的生成相同)。
- Composite (复合曲线): 若干条曲线组成。
- Interpolate (插值曲线): 给出若干个点, 插值曲线经过所有给出的点。
- Tangent (切线): 切线的端点和切线的长度。
- Fillet (倒圆线): 指定倒圆角的两条直线和设置圆角半径。
- Sampled (放样曲线): 起点、起点处曲线方向和创建曲线的其他点。
- Arc (圆弧), 有以下 5 种定义方法:
 - Arc Cen/Rad/Ang/Ang: 输入中心点坐标、半径、起点角度、终点角度。
 - Arc Cen/Pnt/Pnt: 输入中心点坐标、起点坐标、终点坐标。
 - Arc Cen/Pnt/Ang: 输入中心点坐标、起点坐标、圆弧角度。
 - Arc Pnt /Pnt/Pnt: 输入圆周上三个点的坐标。
 - Arc Tang /Rad/Ang: 圆弧终点的正切半径、圆弧角度。
- Circle (圆), 有以下 3 种定义方法:
 - Circle Cent/Rad: 输入圆心坐标及半径。
 - Circle Cent/Pnt: 输入圆心坐标以及圆周上一个点的坐标。
 - Circle Pnt/Pnt/Pnt: 输入圆上三个点的坐标。

用户可根据具体情况选择适当的线的类型。

3. Surfaces: 面的创建和编辑

与曲线一样, 面也有多种类型, 面的类型及其输入要求如表 3-4 所示。各种面的示意图如图 3-12 所示。

表 3-4 Mentat 支持创建的曲面类型

曲面类型	说明
Surface (曲面)	Required Data (所需输入的数据)
Quad (四边形曲面)	4 corner points (四个角点)
Bezier (贝塞尔曲面)	输入 U、V 两个方向上的控制点个数及控制点列
Driven (驱动面)	指定被驱动的曲线 (Driven) 及驱动曲线 (Drive)
Nurbs (NURB 曲面)	U 方向、V 方向的 NURBS 点数; U 方向、V 方向曲线的阶次; NURB 的点列; 节点的坐标; 节点向量
Ruled (直纹曲面)	指定两条曲线
Sphere	球心和半径
Cylinder (圆柱、圆锥面)	对称轴两端的圆心坐标及半径
Swept (扫描面)	输入扫描线 (Swept) 及轨线 (Sweeping) 和扫描的步数
Interpolate (插值曲面)	输入 U、V 两个方向上的控制点个数及控制点列
Coons (孔斯曲面)	四条首尾依次连接的闭环曲线
Skin (蒙皮曲面)	一组曲线

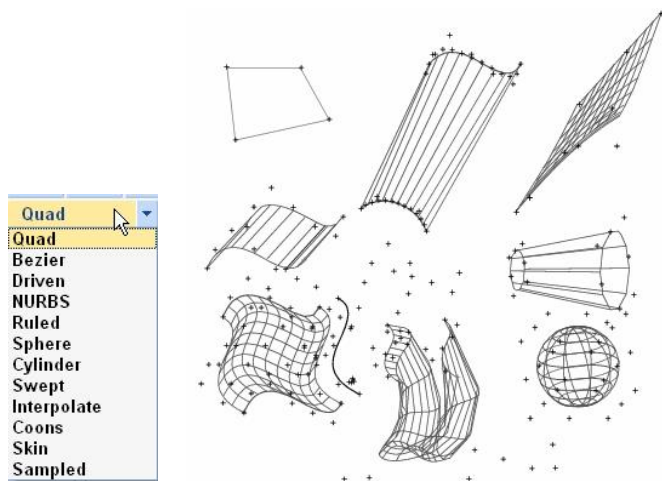


图 3-12 Mentat 中支持生成的各种曲面

4. Solids: 体的创建和编辑

Mentat 可生成 Block (长方体)、Cylinder (圆柱体)、Sphere (球体)、Prism (多棱体)、Torus (圆环体)。生成方法比较简单, 下面进行简单介绍。

Block (长方体): 定义起点和 X、Y、Z 方向的长度。

Cylinder (圆柱体): 定义两个端面的中心坐标及半径。

Sphere (球体): 定义中心坐标及半径。

Prism (多棱体): 定义两个端面的中心坐标、半径及棱边数。

Torus (圆环体): 定义中心坐标及大、小两个半径。

注意: 实体是不能直接转换为单元的。

3.3.3 Mesh (生成网格)

1. Nodes: 节点的创建和操作

Nodes (节点) 的菜单如图 3-13 所示。



图 3-13 节点菜单

Add: 在指定的点或者格栅点处创建节点, 也可以输入坐标来创建节点。

Rem: 删除节点。删除节点时需要用鼠标在图形区选择要删除的节点, 或者在信息区输入要删除的节点号。

Edit: 编辑节点。可以在信息区输入节点的新坐标来改变节点的位置。

Show: 显示节点。显示节点的 x、y 和 z 坐标。

Add Between: 在指定的两个节点中间位置创建新节点。

说明: 节点的自由度是与节点所在单元类型相关的。

2. Elements: 单元创建和操作

Elements (单元) 的菜单如图 3-14 所示。

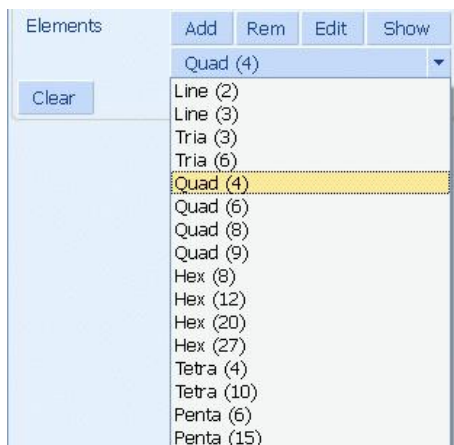


图 3-14 单元菜单

Add: 添加单元。单元几何拓扑类型通过下拉菜单选择。默认为四节点四边形单元。在 Marc 软件中，单元具有两种类型的属性：由几何形状表征的单元几何拓扑类别（Element Class）和按分析问题类型与数值积分方案区分的单元类型（Element Type）。在未明确指明单元类型以前，单元仅具有几何形状上的差异。例如，在几何形状上同是四节点的单元，与之对应的单元类型可以是平面应力/平面应变单元、三维板壳单元或轴对称实体单元等。仅就单元的几何形状来讲，Mentat 支持如表 3-5 所示的单元形式，各单元类型的几何拓扑示意图如图 3-15 所示。

表 3-5 Mentat 支持的单元几何拓扑类型说明表

线单元	line2	line3		
三角形单元	tria3	tria6		
四边形单元	quad4	quad6	quad8	quad9
四面体单元	tetra4	tetra10		
五面体单元	penta6	pentat15		
六面体单元	hex8	hex12	hex20	hex27

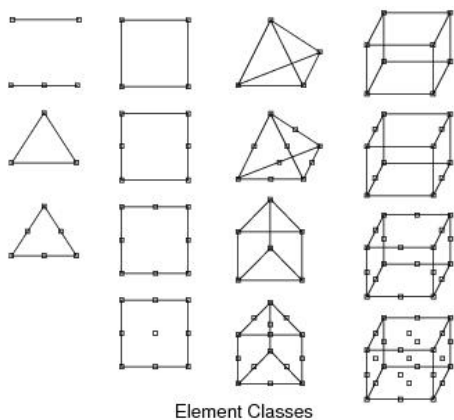


图 3-15 Mentat 支持的单元几何拓扑类型示意图

在 Mentat 中，Element Class 指的是单元的拓扑类型，Element Type 指的是单元的物理和积分类型。在提交 Job 前必须在 Jobs 菜单下指定单元的类型。单元类型（Element Type）指定菜单如图 3-16 所示。

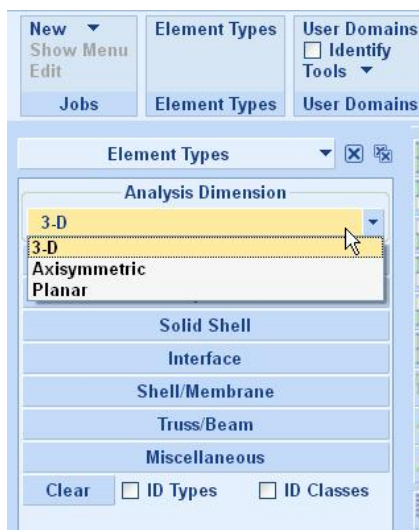


图 3-16 Mentat 中定义单元类型的菜单

3. Clear: 清理

Geometry 框架下的 Clear: 此操作删除当前模型中所有的点、线、面和体几何信息。

Mesh 框架下的 Clear: 此操作删除当前模型中所有的节点和单元。

4. Renumber: 重新编号

单击 Renumber 将出现如图 3-17 所示的动态菜单。对节点、单元、几何点、线、面和体进行重新编号。通过 Start 控制编号的起始号，Increment 控制编号的增加间隔，Nodes Directed 控制节点编号的方向，Elms Directed 设置单元编号的方向。All 对当前模型数据库中的所有单元和几何信息进行指定起始号、指定增量号和指定方向的重新编号。

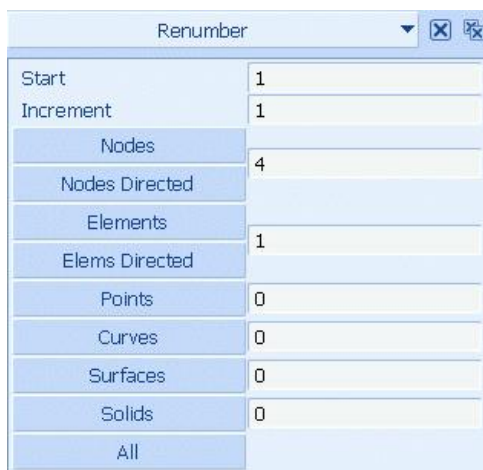


图 3-17 Renumber—重新编号菜单

Nodes Directed 和 Elems Directed 要求输入三个数，分别代表 X、Y、Z 方向的优先顺序。较小的数值具有较大的优先性。在输入数值时，三个数之间最好相差一个数量级。比如说 0.001、0.01、0.1，这代表先沿 X 方向编号，再沿 Y 方向编号，最后沿 Z 方向编号。如图 3-18 所示，分别采用 Nodes Directed: 0.001 0.01 0.1 和 Nodes Directed: 0.1 0.001 0.01 进行节点编号重编，得到的结果如图 3-18 所示。

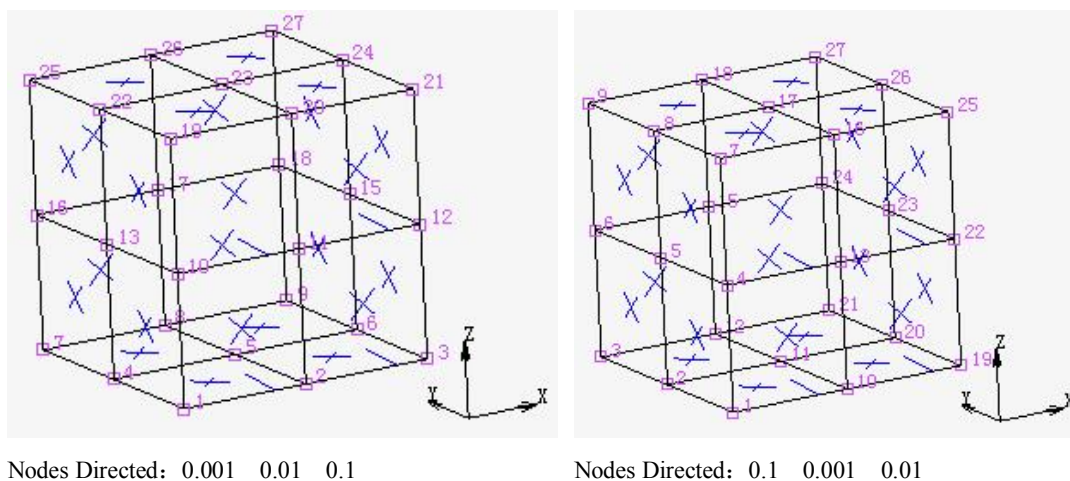


图 3-18 Renumber 中 Nodes Directed 输入不同值时节点编号情况对比图

3.4 Pre-Automesh (自动分网预处理)

这部分功能是为自动分网做准备工作，主要是进行模型的几何检查/修复和生成控制网格密度的种子点。预处理分为两步：Check/Repair Geometry 和 Curve Divisions，如图所 3-19 所示。



图 3-19 Pre-Automesh 菜单

3.4.1 Check/Repair Geometry (几何检查/修复)

本功能是检查和修复几何。CAD 系统中几何造型时，难免作一些局部修改，由此可能产生很小的几何元素。CAD 系统在处理相交或倒角时容易产生过小的几何元素，称之为碎片。采用自动划分单元时，会在这些过小的几何元素附近产生不必要的过高密度单元。此外，几何模型中还可能存在重复点、线、面或者不封闭的表面和不匹配的曲线等瑕疵。利用 Mentat 提供的几何修复工具可以清除这些不必要的的数据，修复不完整的曲面和曲线，保证网格自动划分的正常进行，生成高质量的网格。

Mentat 的几何修复工具具有以下功能：合并几何点、将裁剪面上不齐全的裁剪边界线补

齐、删除不隶属于任何裁剪面的自由曲线、删除过短的曲线、合并过短的曲线、消除曲线间的小间隙、在曲线尖点处打断曲线保证边界网格具有足够的几何精度、在相交面的交线处保证网格匹配的断线措施。

图 3-20 所示的菜单显示了几何检查和修复的多种功能，下面将详细介绍和展示几何修复的选项及其功能。

注意：几何修复会改变当前的模型，因此在执行几何修复前最好备份当前的几何模型。

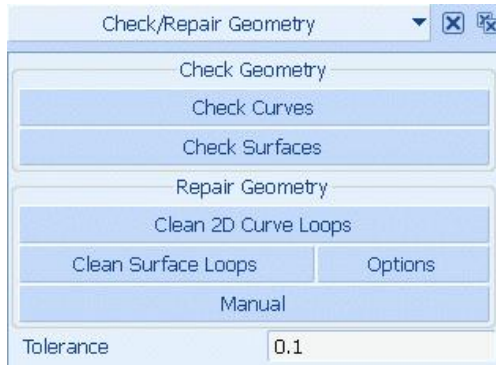


图 3-20 Check/Repair Geometry 菜单

1. Check Geometry

Check Curves (曲线检查)：检查指定曲线的拓扑。系统会给出外环曲线的段数、闭合曲线的环数、开环曲线的数目、曲线的最小和最大边长。如果曲线依附于曲面，曲线在曲面参数空间的长度也会给出。Check Curves 菜单及应用示例如图 3-21 所示。在使用 Check Curves 命令时，Tolerance 应该尽量设置比较小的值，这样就会把很小的间隙或者交叉检查出来。图 3-21 右图所示的曲线存在间隙和曲线交叉。

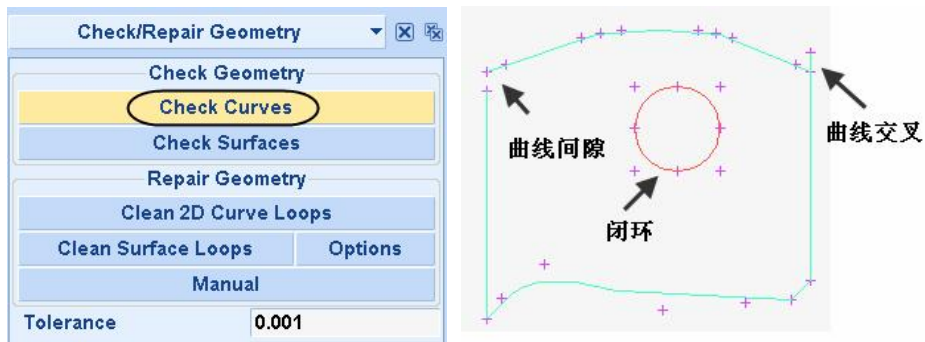


图 3-21 Check Curves 菜单及应用示例

单击 Check Curves→All Existing，信息区提示如下信息：

The minimum curve length : 0.141421

The maximum curve length : 1.77424

Number of segments : 8

Number of open loops : 2

Number of closed loops : 1

Number of outer loops : 3

Number of intersecting segments : 1

Check Curves 命令执行后，检查出来的闭环以红色显示，开环曲线以蓝色显示。

Check Surfaces (曲面检查): 检查裁剪面的拓扑。系统会给出曲面上外环曲线的段数、闭合曲线的环数、开环曲线的数目、曲线的最小和最大边长。

Tolerance (误差): 设置曲线交叉检查时的误差。

2. Repair Geometry

Clean 2D Curve Loops (清除二维短线): 选用此命令删除长度小于给定误差的曲线，并闭合小间隙。菜单按钮如图 3-22 左图所示。对图 3-21 所示的开环曲线进行多余曲线的清除或间隙的闭合修复工作。注意此时需要调整容差，保证有问题的曲线可以被合并、清除。这里设置为 100。单击 Clean 2D Curve Loops → All Existing，清理和修复完后的结果如图 3-20 右图所示。从图中可见，小于容差的小的间隙和交叉都得到了修复，修复后曲线为闭环曲线。经过几何清理和修复后才能进行后续的“曲线布种子点”和“平面网格生成”的操作。如果曲线不是闭环，在平面网格划分时系统将提示由于曲线非闭环曲线网格划分失败的相关信息。

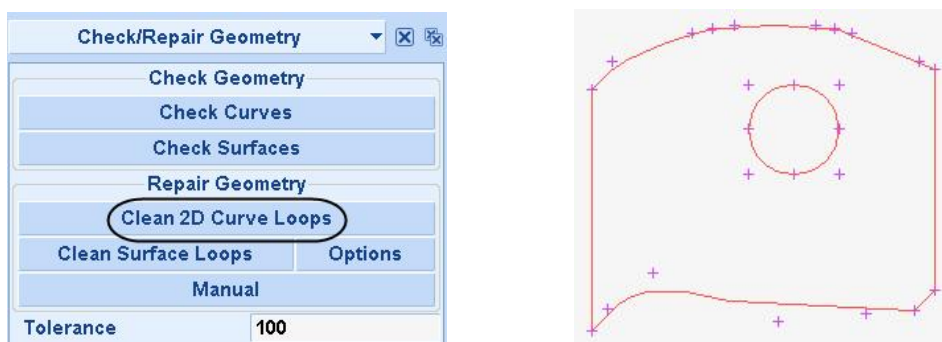


图 3-22 Clean 2D Curve Loops 菜单及应用示例

Clean Surface Loops (清除小面片): 选用此命令删除曲面上长度短于给定最小误差和参数误差(在曲面的参数空间定义的)的曲线，增加裁剪曲线，连接距离小于给定最大误差的两个几何点，其对话框如图 3-23 所示。

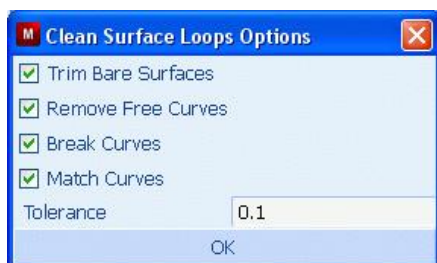


图 3-23 Clean Surface Loops 高级选项菜单

Trim Bare Surfaces: 裁剪独立曲面。

Remove Free Curves: 删除不依附于任何曲面的自由曲线。